

## URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE – LABORATORIUM

### Ćwiczenie 5.

#### Charakterystyka przekładników prądowych

##### 1. Budowa i podstawowe parametry

Przekładniki prądowe, będące praktycznie transformatorami pracującymi w stanie bliskim zwarcia, są budowane na wszystkie wartości napięć od 0,5 kV do najwyższych oraz na znamionowe prądy pierwotne  $I_{1n}$  o znormalizowanych wartościach: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 3000, 4000 A. Prądy znamionowe wtórne wynoszą 5 A, rzadziej 1 A lub 2 A. Przy prądach pierwotnych powyżej 4000 A stosuje się znamionowe prądy wtórne 10 A lub 20 A.

Moce znamionowe przekładników określa się iloczynem kwadratu prądu wtórnego i impedancji znamionowej strony wtórnej. W zależności od potrzeb moce te wynoszą od 2,5 do 90 V·A. Zwiększenie obciążenia ponad wartość znamionową powoduje zwiększenie błędów pomiarowych ponad klasę dokładności.

Przekładniki prądowe dzielą się na pomiarowe i zabezpieczeniowe. Stosowane są następujące klasy dokładności przekładników pomiarowych: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3; 5. W warunkach pracy przekładnika uznanych za normalne prąd pierwotny zawiera się w granicach  $0,05 \div 1,2 I_{1n}$ . W tym zakresie zachowana jest klasa dokładności.

Przekładniki przeznaczone do zabezpieczeń mają klasę dokładności oznaczoną symbolami 5P i 10P. Dopuszczalne błędy wskazowe tych przekładników przy prądzie pierwotnym granicznym ( $P \cdot I_{1n}$ ) wynoszą odpowiednio 5 i 10 %. Współczynnik P wyznacza zakres prądów pierwotnych, w którym podczas trwania zwarcia ustalona transformacja jest zadowalająca z punktu wymagania zabezpieczeń. Przekroczenie przez  $I_{1n}$  krotności granicznej jest przyczyną znacznych błędów i silnego odkształcenia przebiegu prądu wtórnego. Stosuje się następujące krotności prądu  $I_{1n}$  (znamionowe liczby przetężeniowe wskazowe) przekładników prądowych zabezpieczeniowych: 5, 10, 15, 20 i 30.

##### 2. Bezpieczeństwo przyrządów pomiarowych

Przyrządy pomiarowe przyłączone do strony wtórnej przekładników prądowych są zagrożone uszkodzeniem lub zniszczeniem przez duże prądy szczególnie w czasie zwarc. Można temu zapobiec zachowując odpowiednią korelację właściwości zasilanych przyrządów i przekładników, określonych następującymi parametrami:

- znamionowym prądem bezpiecznym przyrządów, oznaczającym najmniejszą wartość prądu pierwotnego, przy którym błąd całkowity przekładnika prądowego jest nie mniejszy niż 10 % przy obciążeniu znamionowym;
- znamionowym współczynnikiem bezpieczeństwa przyrządów FS, równym stosunkowi znamionowego prądu bezpiecznego przyrządów do znamionowego prądu pierwotnego przekładnika.

Inaczej mówiąc, współczynnik bezpieczeństwa przyrządów oznacza stopień ograniczenia prądu wtórnego przy przekroczeniu przez prąd pierwotny określonej granicy. Można przyjąć, że przy dowolnym wzroście prądu pierwotnego wartość skuteczna prądu wtórnego nie zwiększy się powyżej wartości  $2I_{2n} \cdot FS$ .

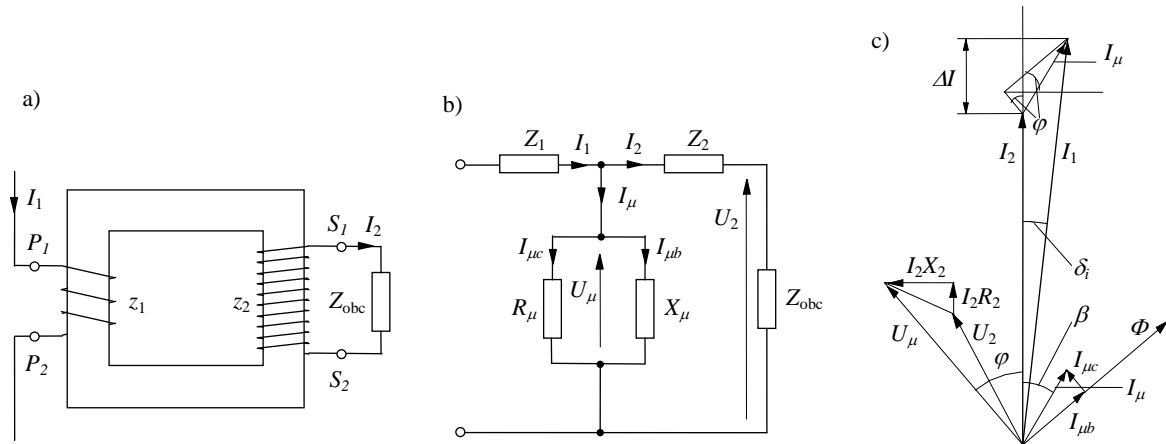
Istnieje analogia między współczynnikiem bezpieczeństwa przyrządów FS oraz liczbą przetężeniową, oznaczającą wielokrotność znamionowego prądu pierwotnego przekładnika, przy której jego błąd wskazowy wynosi określoną wartość, np. 10 %.

Przekładniki prądowe składają się z rdzenia, wykonanego z blach transformatorowych lub specjalnych stopów żelazo-niklowych o dużej przenikalności magnetycznej początkowej i maksymalnej oraz z uzwojeń pierwotnego i wtórnego (rys. 1a). Stosunek znamionowego prądu pierwotnego  $I_{1n}$  do wtórnego  $I_{2n}$  nazywany jest przekładnią znamionową przekładnika:

$$g_i = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}. \quad (1)$$

### 3. Wykres wskazowy i błędy przekładnika

Na rysunku 1b przedstawiono schemat zastępczy przekładnika, w którym parametry strony pierwotnej (napięcie, prąd, impedancja) sprowadzono na stronę wtórną. W warunkach pracy znamionowej, gdy przekładnik pracuje na prostoliniowej części charakterystyki magnesowania, prąd w gałęzi magnesowania  $I_{\mu}$ , zawierający składową bierną  $I_{\mu b}$  wytwarzającą strumień roboczy i składową czynną  $I_{\mu c}$  związaną ze stratami w rdzeniu, można przyjąć jako sinusoidalny. Pozwala to na konstrukcję wykresu wskazowego (rys. 1c) przedstawiającego wzajemne zależności między prądami i napięciami przekładnika.



Rys. 1. Przekładnik prądowy: a) zasada działania, b) schemat zastępczy, c) wykres wskazowy;  $z_1, z_2$  - liczba zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego;  $Z_1, Z_2$  - impedancje uzwojeń strony pierwotnej i wtórnej przekładnika;  $Z_{obc}$  - impedancja obciążenia przekładnika

Dla przekładników prądowych określa się błąd prądowy  $\Delta I$ , błąd kątowy  $\delta_i$  oraz błąd wskazowy  $\Delta I_w$ . Błąd prądowy oblicza się ze wzoru:

$$\Delta I_{\%} = \frac{I_2 g_i - I_1}{I_1} 100. \quad (2)$$

Błąd kątowy jest to kąt między wskazem prądu wtórnego i wskazem prądu pierwotnego. Dodatni znak tego błędu oznacza, że wskaz prądu wtórnego wyprzedza wskaz prądu pierwotnego.

Zgodnie z wykresem na rys. 1c błąd prądowy i kątowy można wyrazić następującymi zależnościami:

$$\Delta I_{\%} = - \frac{I_{\mu b} \sin \varphi + I_{\mu c} \cos \varphi}{I_1} 100, \quad (3)$$

$$\delta_i = \arctg \frac{I_{\mu b} \cos \varphi - I_{\mu c} \sin \varphi}{I_1}, \quad (4)$$

w których:

$$\varphi = \arctg \frac{X_{wt}}{R_{wt}}, \quad (5)$$

$$R_{wt} = R_{obc} + R_2, \quad (6)$$

$$X_{wt} = X_{obc} + X_2, \quad (7)$$

przy czym:  $R_{obc}$ ,  $X_{obc}$  - rezystancja i reaktancja obciążenia przekładnika;  $R_2$ ,  $X_2$  - rezystancja i reaktancja uzwojeń strony wtórnej przekładnika.

Obydwa błędy prądowy i kątowy zależą od prądu pierwotnego, obciążenia przekładnika i współczynnika mocy obwodu wtórnego nie mającego związku ze współczynnikiem mocy sieci, do której przekładnik jest włączony. Możliwości zmniejszenia błędu prądowego są bardzo ograniczone. W grę wchodzi zmniejszenie wartości impedancji obciążenia oraz zwiększenie przenikalności magnetycznej rdzenia (np. przez podmagnesowanie rdzenia prądem obwodu wtórnego).

Błąd wskazowy jest równy względnej wartości wektorowej różnicy między prądem wtórnym przeliczonym na stronę pierwotną a prądem pierwotnym:

$$\Delta I_{w\%} = \frac{|I_2 \mathcal{G}_i - I_1|}{|I_1|} 100. \quad (8)$$

Przyjmując, że przekładnia znamionowa jest równa zwojowej:

$$\mathcal{G}_i \cong \mathcal{G}_z = \frac{z_2}{z_1}, \quad (9)$$

można wyrazić błąd wskazowy za pomocą impedancji:

$$\Delta I_{w\%} = \frac{|Z_2 + Z_{obc}|}{|Z_2 + Z_{obc} + Z_\mu|} 100. \quad (10)$$

Korzystając z tak określonego błędu wskazowego oraz przyjmując, że  $\beta$  oznacza kąt między prądami  $I_2$  i  $I_\mu$  (rys. 1c), można wyrazić błąd prądowy i kątowy w następujący sposób:

$$\Delta I_{\%} = -\Delta I_{w\%} \cos \beta, \quad (11)$$

$$\delta_i = \frac{1}{100} \Delta I_{w\%} \sin \beta. \quad (12)$$

W przypadku przekładników, dla których przekładnia jest oznaczona ilorazem liczby zwojów uzwojenia wtórnego i pierwotnego błąd jest zawsze ujemny. Dla zmniejszenia bezwzględnej wartości tego błędu można odjąć pewną liczbę zwojów uzwojenia wtórnego (poprawka zwojowa), przy zachowaniu oznaczenia przekładni. Przekładniki z poprawką zwojową nazywają się przekładnikami skorygowanymi.

#### 4. Inne własności przekładników prądowych

Wytrzymałość zwarciowa cieplna przekładników prądowych jest charakteryzowana znamionowym krótkotrwałym prądem cieplnym  $I_{th}$ , odpowiadającym stosowanemu dotychczas prądowi cieplnemu jednosekundowemu  $I_{c1}$ . Dla przekładników krajowych zależnie od konstrukcji:

$$I_{th} = (60 \div 240) I_{c1}. \quad (13)$$

Wytrzymałość zwarciovą dynamiczną określa wartość szczytowa prądu równa  $2,5 \times I_{th}$ .

Strumień magnetyczny w rdzeniu przekładnika zależy od przepływu pierwotnego ( $I_1z_1$ ) i wtórnego ( $I_2z_2$ ). Obydwa przepływy równoważą się w znacznym stopniu i strumień wypadkowy jest niewielki a indukcja w rdzeniu waha się w granicach  $0,05 \div 0,10$  T. W przypadku przerwy w uzwojeniu wtórnym strumień wtórny nie równoważy strumienia pierwotnego i indukcja wzrasta do około  $1 \div 1,5$  T. Powoduje to wielokrotny wzrost strat w żelazie zagrażając przegrzaniem rdzenia i zniszczeniem izolacji. Ponadto w uzwojeniu wtórnym może indukować się napięcie rzędu kilku do kilkunastu kilowoltów. Zagraża to zniszczeniem izolacji i porażeniem osób obsługujących urządzenia stacyjne. Dlatego, w każdej sytuacji, kiedy przekładnik nie jest obciążony (miernikiem lub przekąźnikami) powinien być zwarty po stronie wtórnej. Przed odłączeniem obciążenia od przekładnika pracującego w układzie elektroenergetycznym należy najpierw zewrzeć jego uzwojenie wtórne.

Przekładniki prądowe są urządzeniami jednofazowymi. Wykonuje się je jako jedno- lub wielordzeniowe, najczęściej z dwoma lub trzema rdzeniami umieszczonymi we wspólnej obudowie. Uzwojenia strony wtórnej mogą różnić się mocą znamionową i klasą dokładności, mogą do nich być przyłączone różne przyrządy (amperomierze, watomierze, liczniki energii elektrycznej, przekąźniki zabezpieczeniowe).